

УДК 669.162.263

**Тарасов В.П.<sup>1</sup>, Томаш А.А.<sup>2</sup>, Семакова В.Б.<sup>3</sup>, Хайретдинова О.Т.<sup>4</sup>****К ВОПРОСУ РАЦИОНАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ И ГАЗОВ  
ПО РАДИУСУ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ**

*Рассмотрены актуальные вопросы радиального и окружного распределения шихтовых материалов в доменной печи. Показаны основные достоинства и недостатки типового ЗУ и БЗУ различных конструкций. Приведены результаты эксплуатации конусного ЗУ с технологическим отверстием в нижнем конусе, показана большая его эффективность по сравнению с типовым ЗУ и БЗУ всех известных модификаций*

Одной из наиболее важных проблем во всем мире, в том числе и в Украине, является снижение энергетических затрат. В доменном производстве это в первую очередь относится к снижению расхода дефицитного и дорогостоящего кокса.

Настоящая статья является одной из многих НИР кафедры металлургии чугуна ПГТУ, направленных на решение указанной проблемы. В статье продолжается анализ последних работ [1-9], опубликованных в технической литературе по данному вопросу, предложены новые теоретические, конструктивные и технологические решения и их промышленное опробирование на доменных печах МК «Запорожсталь».

Управление ходом доменной печи является сложным процессом, требующим от обслуживающего персонала глубоких теоретических знаний. Особенно это относится к управлению радиальным распределением материалов и газов, которое в основном определяет ход печи, ее производительность и удельный расход кокса [1,2 и др.].

В связи со спецификой профиля доменной печи, периферийным подводом дутья, резким увеличением поперечных размеров горна, распара и колошника распределение материалов по радиусу колошника должно быть неравномерным. Рациональным считается создание умеренно развитых газовых потоков у стен печи и в центральной зоне. Меньший поток газов должен быть в промежуточной зоне [1-3 и др.]. Это касается всех доменных печей, какими бы они не располагали загрузочными устройствами (ЗУ).

При любых ЗУ и шихтовых материалах, наибольшие рудные нагрузки (РН) должны быть в промежуточной зоне, умеренные РН - в периферийной зоне и самые низкие РН - в центральной зоне печи. Желательно при этом в осевой узкой зоне иметь «отдушину», т.е. устойчивый, большой по сравнению с другими поток печных газов. Считается рациональным, если через 4 % площади колошника в центре печи будет проходить 7 – 8 % печных газов.

Об этом следует снова напоминать, так как и сейчас встречаются в технической печати неясности в этом вопросе и даже противоположные мнения. Так в недавно опубликованной работе [4] утверждается, что при сегрегации материалов при ссыпании на колошник: « более крупные куски скатываются в периферийную зону, а мелкие в центральную, и склонны образовывать при ссыпании конус, форма которого характеризуется углом естественного откоса материала». И далее там же, «выклинивание кокса к стенкам печи, а рудной части к осевой зоне» [4, стр. 5, 2 последних абзаца].

Все как раз наоборот. При ссыпании материалов на колошник не конус образуется, а воронка поверхности засыпи. При движении материалов по поверхности засыпи сужающимися потоками к центру колошника при любых ЗУ угол естественного откоса мало влияет на форму воронки (а не конуса) поверхности засыпи. Не мелкие, а крупные куски именно кокса (легкие,

---

<sup>1</sup> ПГТУ, д-р техн. наук, проф.

<sup>2</sup> ПГТУ, канд. техн. наук, доц.

<sup>3</sup> ПГТУ, канд. техн. наук, доц.

<sup>4</sup> ПГТУ, ассистент

а, следовательно, они и выталкиваются вверх) движутся в осевую зону. Мелкие фракции рудной части подачи остаются в основной своей массе в промежуточной и частично в периферийной зонах. Если при этом не ставить, например, лоток вертикально, максимальный угол рассогласования между воронкой и «склизом», загружать последним скипом в конусном ЗУ с ТОНК (технологическое отверстие в нижнем конусе) не кокс, а рудную часть подачи, загружать окатыши не в промежуточную зону, а последними при ссыпании подачи на колошник.

Недостаточно четкие представления о радиальном распределении материалов и газов имеют и другие специалисты доменного производства. Особенно это касается переивания мелких частиц рудных материалов из промежуточной в центральную зону, перетока их в граничном слое между высокими рудными нагрузками и разрыхленным слоем кокса в центральной зоне.

Многие специалисты доменного производства не имеют четких представлений о положительных и негативных сторонах БЗУ, а также не могут реально судить о целесообразности установки роторных, лотковых, типа «воронка – склиз» и БЗУ других конструкций. В технической литературе [4 -7] приводятся весьма различные данные о снижении расхода кокса лотковыми БЗУ от 12 до 25 кг/т чугуна, роторными ЗУ от 10 до 18 кг/т чугуна и ЗУ «воронка - склиз» от 8 до 15 кг/т чугуна. Причем разное снижение расхода кокса при замене типовых ЗУ на БЗУ приводится не только на регионы с различными сырьевыми и дутьевыми условиями, но и для одних и тех же доменных печей. Например, для печей ЗСМК (ДП № 2 и № 1) при работе с роторными ЗУ в разных источниках указана экономия кокса от 5 до 1,5 – 2 %. Более низкая экономия кокса приходится на длительные сравниваемые сроки эксплуатации БЗУ роторного типа, а более высокая экономия кокса на короткие сроки работы.

В работах [4 -7] указывается на достаточно равномерное окружное распределение материалов и газов при загрузке доменных печей БЗУ. В других работах [3, 7] указывается на значительную окружную неравномерность в распределении шихты БЗУ, которая значительно выше окружной неравномерности при загрузке доменных печей ЗУ типовой конструкции. В роторных ЗУ неравномерность по массе из 2<sup>х</sup> скипов составляет 0,5 – 2,0 % и по фракциям 2 – 4 % [8]. Однако при этом из РЗУ не исключают ВРШ типовой конструкции.

Во всех БЗУ материалы на колошник сыплются веером, что увеличивает возможность переивания мелких фракций из зон с более мощным потоком газов в зоны с меньшим потоком газов. Этот очень важный вопрос отсутствует в публикациях о применении БЗУ для загрузки доменных печей [4 - 8]. В этих же работах не указано как меняется порозность слоя, хотя бы для стационарных условий загрузки шихты. Поэтому трудно судить о распределении печных газов по радиусу колошника при загрузке домны БЗУ, РЗУ, ЗУ «воронка - склиз».

Известно, что БЗУ всех конструкций почти на порядок дороже типового ЗУ, поэтому непонятно утверждение авторов [7, 8], что РЗУ на 15 % дешевле затрат на установку типового ЗУ. Этот момент также непонятен, как и другие вопросы, рассмотренные выше.

Целью настоящей статьи является теоретическое и практическое обоснование наиболее рационального распределения газового потока в доменной печи и соответствующее конструктивное решение.

На МК «Запорожсталь» на 2<sup>х</sup> доменных печах для загрузки шихты применяют типовые ЗУ с ТОНК (рис. 1). Через технологическое отверстие нижнего конуса непосредственно в центр доменной печи пересыпается от 15 до 20 % кокса из каждой подачи. Поэтому в доменной печи в центральной ее

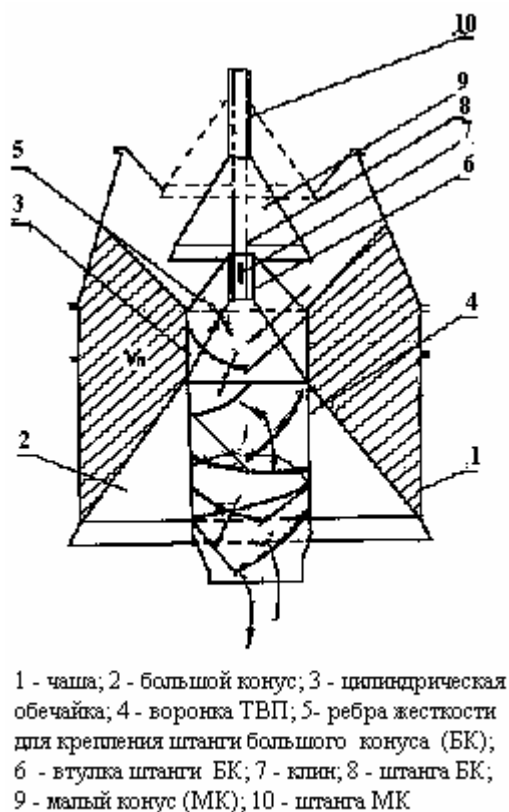


Рис.1 – Схема типового ЗУ с ТОНК

части образуется непрерывный узкий столб кокса, который служит отдушиной в осевой зоне. Количество печных газов в центре печи обеспечивает здесь достаточные температуры для прогрева шлака и чугуна, а также тепло для реакций прямого восстановления железа из его монооксида.

В таблице 1 представлены результаты эксплуатации доменных печей № 3 и № 4 МК «Запорожсталь», загрузка которых производится типовым ЗУ с ТОНК. Доменная печь № 3 стояла без ремонта 10 лет, поэтому для сравнения за базовый период взята работа ДП № 4 при загрузке ее типовым загрузочным устройством. Это вполне закономерно, так как такой же расход кокса с типовыми ЗУ имеют доменные печи МК «Азовсталь» (560 – 580 кг/т), ММК им. Ильича (550 – 560 кг/т), ДМЗ (570 -580 кг/т) и других металлургических предприятий Украины.

Таблица 1 – Показатели работы ДП №3 и №4 МК «Запорожсталь» с типовым ЗУ с ТОНК (базовый период) и с ТОНК (II и III периоды)

Наименование показателя	Базовый ДП №4 02. 2000-01. 2001	Опытный ДП №4 07. 2001-06. 2002	Опытный ДП №3 01. 2002-09. 2002	Изменение расхода кокса, %		Изменение производства, %	
				ДП №4 к базовому	ДП №3 к базовому	ДП №4 к базовому	ДП №3 к базовому
Производство, т/сут	2032	2264	2332				
Расход сухого кокса, кг/т чуг.	579	521	518				
Выход шлака, кг/т	493	472	460	-1,0	-1,65	+1,0	+1,65
Температура дутья, °С	1038	1113	1093	-1,65	-1,21	+1,65	+1,21
Расход известняка, кг/т	36	25	22	-0,5	-0,75	+0,5	+0,75
Содержание в чугуне, %:							
Si	0,75	0,73	0,84	-0,24	+1,1	+0,24	-1,1
Mn	0,44	0,38	0,35	-0,01	-0,01	+0,01	+0,01
S	0,024	0,022	0,023	+0,2	+0,1	-0,2	-0,10
Расход металлодобавок, кг/т	3	10	1,6	-0,21	+0,05	+0,21	-0,21
Простои, %	1,78	0,63	0,81	-0,57	-0,5	+1,71	+1,5
Тихий ход, %	1,33	0,83	0,72	-0,25	-0,3	+0,75	+0,9
Влага кокса, %	4,2	4,55	4,5	+0,35	+0,3	-0,35	-0,3
Зола кокса, %	11,6	11,7	11,6	+0,13	-	-0,13	-
S кокса, %	1,19	1,35	1,25	+0,63	+0,18	-0,63	-0,18
M <sub>10</sub> кокса, %	7,9	7,74	7,70	-0,39	-0,56	+0,39	+0,56
M <sub>25</sub> кокса, %	86,5	87,0	87,0	-0,3	-0,3	+0,3	+0,3
Расход природного газа, м <sup>3</sup> /т	93	97	84	-3,2 кг/т	+7,2 кг/т	-	-
Сумма, %				- 3,6	-3,85	+5,45	+4,45
кг/т				- 24	-15,2		
т/сут						+ 112	+93
Приведенное к равным условиям производство чугуна, т/сут	2144 2125	2264	2332			2144	2125
Приведенный к равным условиям расход кокса, кг/т чуг.	555 564	521 -	- 518				

Из таблицы 1 видно, что расход кокса на доменной печи № 4 при загрузке ее с ТОНК сократился фактически на 58 и приведенный к равным условиям на 34 кг/т. Для доменной печи № 3 фактический расход кокса сократился на 61 и приведенный к равным условиям на 46 кг/т.

Фактический расход кокса 518 – 521 кг/т для доменных печей № 3 и № 4 МК «Запорожсталь» является в настоящее время самым низким расходом на Украине. Доменная печь № 5 этого же комбината, оборудованная БЗУ «воронка - склиз», имела за период 06.01 -06.02 фактический расход кокса 528 кг/т. Эта печь оборудована отсевом мелочи агломерата, который составил за указанный период 6 %. Если учесть это (остальные параметры очень близки), то расход кокса составит  $528 + (528 \cdot 0,03) = 543,8$  кг/т. Таким образом, на ДП № 5 МК «Запорожсталь», оборудованной БЗУ, удельный расход кокса больше по сравнению с ДП № 3 и № 4, оборудованными типовыми ЗУ с ТОНК на 20 - 22 кг/т чугуна.

Кроме МК «Запорожсталь» низкий расход кокса в настоящее время имеют доменные печи МК «Криворожсталь». За 1998 г. на этом комбинате фактический расход кокса составлял на ДП № 1 – 559; ДП № 5 – 584; № 7 – 570; № 8 – 573 кг/т [9]. Таким образом, в 1998 г. расход кокса на ДП МК «Криворожсталь» при загрузке типовыми ЗУ составлял такие же величины, как и на остальных доменных печах Украины. В 2001-2002 г.г. удельный расход кокса на ДП МК «Криворожсталь» снизился до 495-500 кг/т, но при этом загружается не менее 20 кг/т обработанного специальным образом антрацита (точное количество используемого антрацита не публикуется). Кроме того, отсеивается мелочь агломерата (плюс к расходу еще 3-3,5 %).

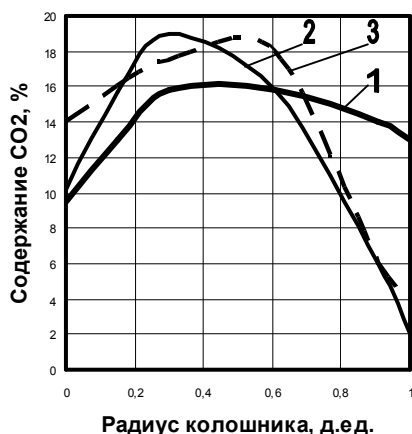
Следовательно, на доменных печах № 4 и № 3 МК «Запорожсталь», оборудованных типовыми ЗУ с подачей части кокса непосредственно в центр колошника, самый низкий фактический и приведенный к равным условиям расход кокса.

Во время эксплуатации типового ЗУ с ТОНК на ДП № 3 и № 4 МК «Запорожсталь» выявилась зависимость количества пересыпаемого в центр кокса от рудной нагрузки (РН) и величины рудной колоши (объема подачи). Замерами перед задувкой печи было установлено, что объем шихты на нижнем конусе составляет 23 м<sup>3</sup>. Засыпаемый на нижний конус объем шихты более 23 м<sup>3</sup> пересыпается в центральную зону. Поскольку последним скипом всегда загружается кокс, то именно он пересыпается в центральную зону.

В таблице 2 приведены величины рудных колош и РН, которые определяют соответствующее количество пересыпаемого в центр кокса. Видно, что при рабочих РН и рудных колошах (3,2 – 3,4 т/т и 21 – 22 т) в центр печи пересыпается от 15 до 25 % массы кокса в подаче. Содержание СО<sub>2</sub> в осевой зоне при этом составляет от 3 – 4 до 5 –6 %, что обеспечивает достаточный поток печных газов в центре печи (рис. 2).

Таблица 2 – Влияние величины рудных колош и РН на количество пересыпаемого через ТОНК в центр печи кокса

РН, т/т кокса	Рудная колоша, т	18,6	19,6	20,6	22,6	Примечание
3,0	Количество кокса, пересыпаемого в центр печи:					При нормальной работе ДП № 3 и № 4 РН=3,3 -3,4 т/т и рудных колошах 21-22 т в центр печи пересыпается 20-22 % от массы кокса
	т	0,56	1,13	1,74	2,96	
	м <sup>3</sup>	1,2	2,4	3,7	6,3	
3,2	Количество кокса, пересыпаемого в центр печи:					
	т	0,19	0,47	1,32	2,49	
	м <sup>3</sup>	0,4	1,0	2,8	5,30	
3,4	Количество кокса, пересыпаемого в центр печи:					
	т	0	0,14	0,94	2,07	
	м <sup>3</sup>	0	0,3	2,0	4,40	
	%	0	2,4	15,5	31,2	



1 – при загрузке ДП №4 типовым ЗУ; 2 – то же при ЗУ с ТОНК; 3 – при загрузке ДП №3 ЗУ с ТОНК

Рис. 2 – Содержание CO<sub>2</sub> по радиусу ДП №4 и № 3 МК «Запорожсталь»

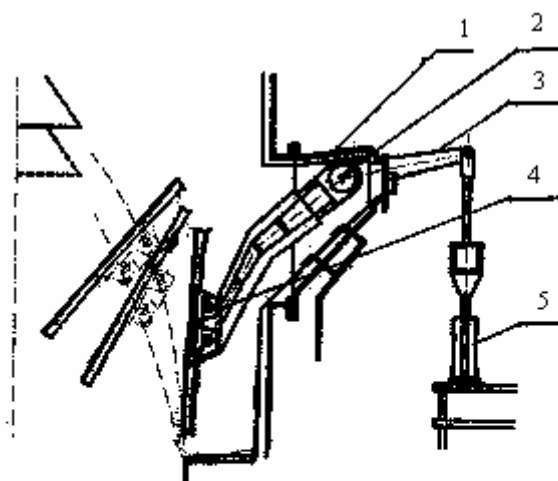
тора полностью или частично пересыпается в центр печи. Подвижные плиты могут выдвигаться поочередно, и получается 6 станций работы по распределению кокса по окружности колошника. Выдвигаются в большем количестве те плиты, в секторе которых повышенная температура периферии. На наш взгляд, в этом случае отпадает необходимость в ВРШ, т.е. не нужно вращающейся воронки (ВВ) с приводом, подпятника на штанге малого конуса для вращения его вместе с ВВ, уплотнения вокруг ВВ.

Подвижные плиты в межконусном пространстве (ППМП) будут выполнять и роль подвижных плит колошника (ППК), которые успешно применяются в Германии, Японии и в других промышленно развитых странах. Условия работы ППМП более благоприятны по сравнению с ППК, т.е. их эксплуатация значительно упрощается. Конструкторская часть подвижных плит доведена до такой высокой степени надежности, что затраты на их эксплуатацию резко снижены и сводятся в основном к расходу на применение азота (или чистого доменного газа) для создания противодавления в корпусах приводов плит и их охлаждения.

На рис. 3 показано устройство конструкции подвижных плит фирмы «Син Ниппон Сэйтэцу» [4], которая успешно применяется для регулирования окружного распределения шихты на колошнике печи. Примерно такая же конструкция может использоваться и для установки ППМП.

Однако, существует неоднозначная зависимость количества пересыпаемого в центр печи кокса от РН и массы подачи. Например, при ухудшении качества кокса или увеличении мелочи в агломерате на всех доменных печах всегда переходят на малые колоши. Так поступают и доменщики на МК «Запорожсталь», но при этом снижается количество пересыпаемого в центр печи кокса и расстройство хода печи увеличивается и по этой причине. Положение несколько сглаживается снижением в этом случае РН. Как видно из таблицы 2, уменьшение рудной колоши снижает массу пересыпаемого в центр печи кокса, а снижение РН увеличивает. Однако, неудобство изменений общей массы и объема подачи при соответствующих колебаниях качества сырых материалов значительно влияет на производительность печи и расход кокса.

Для устранения указанного недостатка в ЗУ с ТОНК предложены подвижные плиты в межконусном пространстве (рис. 3) [10]. Если нужно увеличить количество пересыпаемого кокса в осевую зону, то при ссыпании кокса из последнего скипа, одна (или две, в зависимости от величины газового потока в центре) из подвижных плит выдвигается в сторону технологического отверстия в нижнем конусе и кокс из этого сектора полностью или частично пересыпается в центр печи.



1 - герметичный корпус; 2 - вал; 3 - рычаг вне корпуса; 4 - рычаг с корректирующей плитой; 5 - приводной механизм (гидравлический, электрический)

Рис. 3 - Конструкция подвижных плит фирмы "Син Ниппон Сэйтэцу"

Таким образом, успешная работа ДП № 3 и № 4 МК «Запорожсталь» с загрузкой их типовым ЗУ с ТОНК может служить примером для установки таких ЗУ на всех доменных печах, оборудованных типовыми загрузочными устройствами. Преимуществом таких ЗУ против БЗУ является не только большая экономия кокса, но и более дешевое изготовление, монтаж и эксплуатация. Если окупаемость БЗУ при установке их на доменные печи составляет 7 – 9 лет (для печей малого и среднего объема), то окупаемость ЗУ с ТОНК составляет полгода.

### *Выводы*

1. При современных условиях доменной плавки необходимо иметь в осевой зоне доменной печи «отдушину», т.е. устойчивый поток газов (~ 8 % на 4 % центральной площади колошника).
2. БЗУ всех конструкций обеспечивают устойчивый осевой поток газов, но при веерной загрузке шихты увеличивается переувлажнение мелких частиц из области развитых потоков газов в секторы с меньшим газовым потоком.
3. При загрузке БЗУ окружное распределение шихтовых материалов имеет большую неравномерность по сравнению с типовым ЗУ.
4. Применение для загрузки доменных печей ЗУ типовой конструкции с технологическим отверстием в нижнем конусе снижает расход кокса на 20 – 30 кг/т чугуна по сравнению с обычным конусным ЗУ и на 10 – 20 кг/т чугуна по сравнению с БЗУ.
5. В дальнейшем планируются исследования с переменным количеством кокса, пересыпаемого в центр доменной печи, за счет установки подвижных плит в межконусном пространстве ЗУ.
6. Кроме того, намечаются исследования количественного определения объемов газового потока по окружности и радиусу колошника.

### *Перечень ссылок*

1. Стефанович М.А. Анализ хода доменного процесса / М.А.Стефанович.-Свердловск: Металлургиздат. – 1963. – 286 с.
2. Ефименко Г.Г. Металлургия чугуна / Г.Г. Ефименко, А.А. Гиммельфарб, В.И.Левченко.- Киев: Вища школа.- 1988.- 351 с.
3. Тарасов В.П. Газодинамика доменного процесса: 2<sup>е</sup> изд. перераб. и доп./ В.П.Тарасов. - Металлургия.-1990.– 216 с.
4. Современные загрузочные устройства доменных печей/ В.А. Авдеев, О.И. Шайнович, Е.И. Ясаков, А.В. Марченко // М.: Металлургия. -1994. – 64 с.
5. Большаков В.И. Теория и практика загрузки доменных печей / В.И.Большаков. – М.: Металлургия. – 1990. – 256 с.
6. Результаты освоения роторного загрузочного устройства конструкции ОАО ЗСМК/ С.Ф.Бугаев, А.А.Антонов, И.И.Басалаев // Сталь.-1997.-№ 6.-С.19-22.
7. Бочка В.В. Исследование некоторых особенностей истечения материалов из бункеров БЗУ / В.В. Бочка, Н.Ш. Гринштейн, В.В. Тарановский // Сталь.-1994.-№ 7.-С.11-14.
8. Особенности распределения шихтовых материалов загрузочным устройством с роторным распределителем шихты/ А.А.Антонов, С.Ф.Бугаев, В.П.Горбачев, В.В.Каляка //Сталь.-1999.-№ 5.-С.17-19.
9. Шеремет В.А. Аглодомное и коксохимическое производства КГГМК «Криворожсталь»/ В.А.Шеремет//Производство чугуна на рубеже столетий.- Днепропетровск: Пороги,1999.- С. 489.
10. А.с. 1725562 СССР, МКИ<sup>5</sup> С21 В7/08. Загрузочное устройство доменной печи.

Статья поступила 08.12.2002